

**Н.В. Заіменко, Н.П. Дідик, Н.Е. Елланська,
Б.О. Іваницька, Н.А. Павлюченко, Д.Б. Рахметов, І.П. Харитонова**

Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, Київ

ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНЬОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ ТА ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ КИСЛИХ І ЗАСОЛЕНИХ ҐРУНТІВ



Запропоновано методи впровадження новітньої технології меліорації кислих і засолених ґрунтів, яка базується на комплексному використанні кремнієвмісних сумішей за сумісного вирощування злакових, бобових і хрестоцвітих видів рослин. Розроблено технологічний регламент для застосування хімічних і фітомеліорантів у різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Визначено кремнієвмісні суміші з високим меліоративним потенціалом та оптимальні дози їх застосування. Проведено комплексне вивчення хімічних і фітомеліорантів та визначено їх роль у стимуляції розвитку агрономічно-корисної мікробіоти. Покращено агрофізичні, агрохімічні, біологічні показники ґрунту та зменшено токсичність і ґрунтовтому на фоні внесення кремнієвмісних сумішей. Вдосконалено структуру сівозмін.

Ключові слова: кислі та засолені ґрунти, хімічна та фітомеліорація, кремнієвмісні суміші, сільськогосподарські культури, адаптивний потенціал.

Ґрунт — одна з основ життя на Землі. За висловом всесвітньо відомого еколога *Жана П'єра Доста*, «...ґрунт — наш найдорогоцінніший капітал. Життя і благополуччя всього комплексу наземних біоценозів, природних і штучних, залежить зрештою від тонкого шару, що утворює верхній покрив Землі». Будучи частиною біосфери, ґрунт водночас є необхідною умовою її існування, і ніякі інші компоненти біосфери не можуть замінити функції ґрунту. Для утворення шару ґрунту завтовшки 1 см необхідно 100 років. Проте через недбалу експлуатацію він може бути втрачений за один сезон. Наприкінці ХХ ст. стало очевидним, що деградація ґрунтів набула загрозливих розмірів і є однією з основних загроз глобальної екологічної кризи. Тому проблема відновлення та раціонального використання ґрунтів є одним із найважливіших завдань людства.

Кислотна деградація (декальцинація) ґрунту спостерігається на значній частині території України. За даними Державного агентства земельних ресурсів України кислі ґрунти поширені на площі близько 5,5 млн. га, в тому числі сильнокислі (pH сольовий $< 4,5$) — 0,64 млн. га, середньокислі (pH сольовий 4,5–5,0) — 1,37 млн. га і слабокислі (pH сольовий 5,0–5,5) — 3,45 млн. га. Під пасовищами, сіножаттями та іншими природними угіддями зайнято ще близько 4 млн. га кислих ґрунтів. За іншими даними (Центрдержзродючість) площа кислих ґрунтів становить близько 8,5 млн. га [1].

В останні роки в Україні, як і всьому світі, поширилися випадки вторинного підкислення ґрунтів, спричинені кислотними опадами та незбалансованим застосуванням мінеральних добрив. Внаслідок цього підкислюються навіть нейтральні за своєю природою чорноземи. Декальцинація ґрунтів супроводжується їх дегуміфікацією. Встановлено зниження запасів гумусу в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України.

Кислі ґрунти характеризуються збідненим вмістом кальцію і магнію та наявністю окислів алюмінію і заліза, які гальмують рух поживних речовин до коріння рослин. Такі ґрунти піддаються процесам ущільнення як підорного, так і посівного шару ґрунту, зменшенню пористості, порушенню водно-повітряного режиму. В цих ґрунтах відбуваються знеструктурування, кіркоутворення та інші ерозійні процеси. Крім недобору врожаю ці процеси призводять до значного зниження використання рослинами елементів живлення з ґрунту за рахунок змін стратегії розвитку кореневої системи [7, 10] та більш інтенсивного вимивання поживних речовин, пригнічення росту і розвитку рослин та агрономічно корисної мікробіоти.

Актуальною як для України, так і для інших країн світу є також проблема рекультиватії засолених ґрунтів [6, 8, 11]. Засолені ґрунти в Україні за даними Державного земельного кадастру займають площу 1,92 млн. га, з них 1,71 млн. га — нині у сільськогосподарському використанні. Площа солонцевих ґрунтів — 2,8 млн. га — переважно в межах Степу, приблизно 2/3 з них розорюється, а близько 0,8 млн. га — зрошується [1]. Під час зрошення може виникати вторинна солонцюватість ґрунтів внаслідок входження натрію та калію в ґрунтовий вбирний комплекс.

Основою відтворення родючості ґрунтів є забезпечення в них оптимального рівня pH , бездефіцитного балансу гумусу і елементів живлення, а також усунення шкідливих абіотичних та біотичних факторів.

Найбільш екологічно привабливим, економічно рентабельним і тому перспективним методом хімічної меліорації є внесення органічних матеріалів у комплексі з кремнієвмісними мінералами природного походження. Як органічний матеріал доцільно застосовувати сапропель — поновлювані природні донні органомінеральні відкладення прісноводних озер, які утворюються внаслідок анаеробного розкладання органіки рослинного і тваринного по-

дження. Завдяки лужній реакції ($pH = 9,8-10,2$) сапропель ефективно знижує кислотність ґрунту. Крім того, сапропель відзначається високим вмістом органічного азоту та фосфатів Са, К та Mg. Згідно з прогнозами екологів, для того щоб відновити український чорнозем, треба щороку вносити на гектар по 30—40 т органіки [2]. Раніше налічувалось більше десяти видів гною. Нині ж гнойове господарство занедбане. На поля вивозяться переважно гнойівка, сечовина, котрі забруднюють ґрунт. Тому сапропель є більш екологічно привабливим. Збільшення вмісту органічної речовини значно підвищує ефективність мінеральних добрив, знижує їхню побічну негативну дію, сприяє закріпленню їхніх надлишків і нейтралізує шкідливі домішки.

Наявність у складі сумішей кремнієвмісних природних мінералів, з одного боку, підвищує адаптивний потенціал рослин до абіотичних та біотичних стресових факторів, з іншого — суттєво покращує агрофізичний, агрохімічний та біоекологічний стан ґрунту [9].

Ефективним та екологічно обґрунтованим засобом поліпшення властивостей кислих ґрунтів є висівання конюшини та еспарцету. Завдяки глибокій кореневій системі ці культури переносять з глибоких шарів ґрунту (материнської породи) кальцій і нагромаджують його в орному шарі. Крім того, зазначені рослини характеризуються позитивною дією на біоекологічні властивості ґрунту: активізують мікробіологічні процеси ґрунту, сприяють розвитку азотфіксуючих мікроорганізмів, пригнічують розвиток бур'янів, фітопатогенів та шкідливих комах.

Метою наших досліджень було впровадження новітньої технології меліорації кислих і засолених ґрунтів відповідно до концепції боротьби з деградацією земель, спрямованої на виконання Конвенції ООН, яку передбачено реалізувати в Україні протягом 2014—2018 рр.

Запропонована технологія на синекоелогічних засадах поєднує хімічну та фітомеліорацію, забезпечує збалансовану систему мінера-

Вплив сумішей кремнієвміс
росту кукурудзи

Засолення, %		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0
Суміш, №	Висота, мм						Площа листків, см ²					
	0	165	148	114	115	99	7,0	6,1	4,1	4,4	4,3	151
1	175	148	126	145	101	7,2	6,7	5,5	5,2	3,8	156	
2	175	152	136	135	111	7,0	6,9	5,4	5,4	5,2	151	
3	177	156	122	124	102	6,6	6,4	4,8	6,0	4,4	151	
4	168	144	112	102	87	7,1	5,7	5,1	5,1	4,3	148	

льного живлення рослин, покращення агрофізичних, агрохімічних і біологічних характеристик ґрунту. Заслуговує на увагу позитивне вирішення питань зменшення ґрунтової та усунення токсичності ґрунтів, підвищення адаптивного потенціалу рослин до негативних абіотичних і біотичних чинників, у т.ч. і фітопатогенів.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КРЕМНІЄВМІСНИХ
СУМІШЕЙ НА АДАПТИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ КУЛЬТУРНИХ
РОСЛИН В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РІВНЯ ЗАСОЛЕННЯ
І ЗАКИСЛЕННЯ СУБСТРАТУ**

Проведено серію модельних лабораторних та польових досліджень по виявленню впливу на адаптивний потенціал тест-рослин в залежності від рівня засолення субстрату чотирьох сумішей, а саме: суміш № 1 – 90 % сапропелю, 7 % трепелю, 3 % анальциму; суміш № 2 – 50 % трепелю, 25 % силікату калію, 15 % анальциму, 10 % сапропелю; суміш № 3 – 70 % трепелю, 30 % анальциму; суміш № 4 – 70 % верхового торфу, 30 % трепелю.

У модельних лабораторних експериментах використовували такі тестові культури: кукурудзу (*Zea mays* L., гібрид Фаворит), еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria* (Kit.), родина *Fabaceae* L.) та представники родини капустяних (*Brassicaceae* L.) – тифон (*Brassica campestris f. biennis* D.C. × *B. rapa* L.), редьку посівну, редьку олійну (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.), суріпицю озиму (*Brassica campestris f. biennis* D.C.). Насіння висівали у вегетаційні посудини з підготовленим відповідним

чином піщаним субстратом [3]. Засолення моделювали шляхом одноразового поливу розчинами хлориду натрію концентрації 0 (контроль); 1; 2; 3; 4 % після появи сходів. Різні рівні закислення моделювали регулярним поливом тест-рослин дистильованою водою, підкислою соляною кислотою до рівня $pH = 4; 5; 6; 7$. Умови вирощування: температура 22–30 °С, розсіяне сонячне освітлення, відносна вологість повітря 60–75 %. Тривалість дослідів для кукурудзи – 21 доба, для інших видів – 30 діб. Повторність дослідів – чотирикратна. Життєвий стан рослин кукурудзи оцінювали за такими показниками: морфометричні параметри росту (висота надземних частин, довжина коренів, площа листової поверхні), суха маса надземних частин та коренів, відносний вміст води та водний дефіцит у листках, вміст фотосинтетичних пігментів, флавоноїдів, активність каталази.

Встановлено, що кукурудза найбільш стійка, а редька та тифон найбільш вразливі до умов засолення. Серед дводольних до засолення стійкі еспарцет та суріпиця. Всі досліджені суміші кремнієвмісних мінералів з органічними домішками позитивно впливали на розвиток тест-культур: стимулювали ростові процеси надземних частин та кореневих систем, активізували біосинтез фотосинтетичних пігментів у листках, сприяли нормалізації водного режиму та накопиченню захисних сполук (флавоноїдів, антоціанів), а також зростанню активності каталази у тканинах (табл. 1, 2). Це

них мінералів на морфометричні показники при різних рівнях засолення, $P < 0,01$

	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Довжина коренів, мм					Кількість коренів					Загальна довжина коренів, мм				
	130	155	163	148	5,0	5,0	2,7	2,7	3,2	755	650	413	434	469
	121	179	215	180	5,0	4,0	5,3	4,5	5,8	530	484	938	968	1035
	132	208	225	233	5,0	4,0	5,0	4,6	5,7	755	528	1040	1035	1322
	132	209	184	208	3,9	4,0	4,3	2,4	4,3	591	488	887	442	882
	180	220	157	150	5,0	4,0	4,3	3,6	5,0	540	720	935	561	750

свідчить про індукцію відповідних антиоксидантних систем захисту у варіантах з кремнієвмісними сумішами. Очевидно, позитивна фізіологічна дія досліджених сумішей пов'язана з активізацією біосинтезу захисних біомолекул та стимулюванням активності захисних ферментативних антиоксидантних систем.

За відсутності засолення найвищі показники росту та вмісту фотосинтетичних пігментів спостерігали у кукурудзи та еспарцету у разі внесення сумішей №1 (мінералізований сапропель і кремнієвмісні мінерали), № 2 (силікат калію), №3 (суміш кремнієвмісних мінералів); редьки олійної – сумішей № 1 та № 2 у суріпиці та тифону – сумішей № 1, № 2 та № 4 (верховий торф і кремнієвмісні мінерали). При 2–4%-ому засоленні розчином NaCl найбільший показники росту та вмісту фотосинтетичних пігментів виявлено у тест-рослин у разі внесення сумішей № 2 та № 3. Внесення сумішей № 1

та № 3 ефективно сприяло виживанню проростків рослин, чутливих до засолення.

Серед досліджених тест-культур редька олійна проявила найвищу стійкість до підвищення кислотності субстрату. На другому місці була кукурудза. Найбільш чутливими до умов закислення виявилися рослини еспарцету. Всі досліджені кремнієвмісні суміші позитивно впливали на розвиток рослин за умов закислення: стимулювали ростові процеси надземних частин та корневих систем, активізували біосинтез фотосинтетичних пігментів у листках (табл. 3). Ступінь захисного ефекту дії сумішей залежав від рівня кислотності субстрату та видових особливостей. Так, для кукурудзи, еспарцету та суріпиці, як правило, найвищі показники росту спостерігали при вирощуванні на сумішах № 2 та № 4, для тифону – при вирощуванні на сумішах № 2 та № 3, для редьки – при вирощуванні на суміші № 1 та № 4 на

Таблиця 2

Вплив сумішей кремнієвмісних мінералів на вміст флавоноїдів, активність каталази в листках та вміст антоціанів у коренях кукурудзи при різних рівнях засолення, $P < 0,01$

Засолення, %	Флавоноїди, мг/г сухої речовини						Антоціани, од. оптич. густини 1 г листків в 1 мл. р-ну					Активність каталази, кмоль H_2O_2 в 1 хв на 1 г сирої маси листків				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
Суміш, №	0	2,4	2,7	2,6	3,1	3,2	0,43	0,5	0,65	1,56	1,66	7,2	7,47	9,49	12,4	19,9
	1	2,3	3,4	3,2	3,7	2,8	0,53	0,81	0,97	1,7	1,25	9,5	15,8	15,8	16,3	19,6
	2	2,5	3,3	3,1	3,7	3,3	0,94	0,87	1,05	1,93	1,7	10,3	9,96	12,5	14,4	18,9
	3	2,0	2,8	3,1	3,3	2,4	0,6	0,85	1,13	2,21	2,4	11,1	9,13	10,8	11,5	19,1
	4	2,8	3,8	4,1	3,1	2,7	0,5	0,55	0,91	1,89	1,37	18,6	19,1	18,3	18,1	19,0

фоні нейтральної реакції субстрату та на суміші № 2 на фоні підвищеної кислотності з $pH = 4$.

Польові досліді проводили на ділянках дослідних господарств Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків (грунт — чорнозем малогумусний, pH в межах 5,1–5,3 і гумус 2,0–2,1) на площі 2,5 га та Інституту рису Національної академії аграрних наук України (грунт — середньо-солонцюватий темно-каштановий, $pH = 6,5$ – $6,8$, гумус — 1,4–1,9) на площі 2 га.

Аналіз результатів польових дослідів показав позитивний вплив кремнієвмісних мінералів на врожайність рису, кукурудзи, цукрових буряків та сої. Найбільш високою врожайність рослин була при внесенні сумішей на основі мінералізованого сапропелю та силікату калію. Оптимальна доза внесення кремнієвмісних сумішей для варіанту з мінералізованим сапропелем — 500 кг/га, а для інших варіантів — 300 кг/га.

Аналіз структурних елементів урожаю показав, що застосування мінералізованого сапропелю + кремнієвмісні мінерали та силікату калію + кремнієвмісні мінерали + сапропель (5–10 %) стимулювало утворення більшої кількості бокових пагонів у рослин рису, що позитивно вплинуло на загальну кількість продуктивних стебел у посівах. Також значне збільшення маси зерна з волоті було відмічено при цих же варіантах. Так, за контрольного варіанту маса зерна з волоті становила 1,76 г, а за варіанту мінералізований сапропель + кремнієвмісні мінерали (500 кг/га) — 2,13 г. Водночас було встановлено, що кремнієвмісні мінерали сприяють активації ростових процесів: висота рослин за контрольного варіанту становить 86 см, а при застосуванні кремнієвмісних мінералів — 89–93 см.

Відомо, що в умовах сольового стресу значно знижується площа листової поверхні, вага сирової рослинної маси, урожайність насіння, фотосинтез, вміст нітратредуктази, біосинтез хлорофілу і відсоток білка насіння. І навпаки, дихання, активність антиоксидантних ферментів, на-

копичення проліну і відсоток ліноленової кислоти збільшуються в умовах сольового стресу. Доведено, що аскорбінова кислота позитивно впливає на нітратредуктазу та синтез хлорофілів *a* і *b*. У випадку внесення кремнію зафіксовано підвищення площі листової поверхні, приріст сирової рослинної маси, урожайність насіння, фотосинтез, діяльність аскорбатпероксидази, нітратредуктазної активності та синтез хлорофілів, однак дихання зменшувалося. Отже, сполуки кремнію задіяні в захисних механізмах подолання сольового стресу.

У результаті проведених досліджень встановлено, що кількість і динаміка вмісту аскорбінової кислоти залежить від складу внесеної кремнієвмісної суміші та її дози. Найбільш інтенсивний синтез аскорбінової кислоти у рослинах рису відмічено при внесенні суміші № 1 і суміші № 3 у дозі 300 кг/га. Кількісні показники перевищують показники контрольних рослин у 1,8–2,4 рази. Спостерігали підвищення вмісту аскорбінової кислоти на 34 % у листках рослин цукрових буряків сорту «Стандарт» при внесенні суміші № 1, а у рослинах цукрових буряків сорту «Кварта» — на 68 % при внесенні суміші № 2. Підвищення синтезу аскорбінової кислоти (24–57 %) та синтезу цукрів (21–98 %) порівняно з контрольними рослинами відмічено також на рослинах сої. У рослинах кукурудзи відмічено зростання вмісту аскорбінової кислоти на 43 %, а загального цукру на 31 % при внесенні кремнієвмісної суміші № 1. Підвищення синтезу аскорбінової кислоти в листках при внесенні кремнієвмісних сумішей свідчить про активацію захисних функцій рослин в умовах стрес-факторів, у тому числі в умовах засолення та закислення ґрунтів.

Кремнієвмісні суміші позитивно впливали і на вміст загального цукру в тканинах досліджених культурних рослин, що позитивно позначилося на процесах фотосинтезу та продуктивності рослин.

Встановлено, що за присутності кремнієвмісних сумішей спостерігалось підвищення продуктивності всіх досліджуваних культур (табл. 4).

При цьому збільшення урожайності не почалося на якості продукції, зокрема на зниженні цукристості досліджуваних рослин. Наведені дані свідчать про активність застосованих сумішей та їх позитивний вплив не лише на процеси вегетації рослин, але і на їх насінневу продуктивність (рисунок).

З'ЯСУВАННЯ РОЛІ КРЕМНІЄВМІСНИХ СУМІШЕЙ У СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ҐРУНТОВОЇ ЕКОСИСТЕМИ ЗА УМОВ ЗАСОЛЕННЯ І ЗАКИСЛЕННЯ

Результати, отримані методом прямого біотестування субстрату модельних лабораторних дослідів [4], показали, що фітотоксичність замінників ґрунту для 1 % NaCl складає 10–29 % порівняно з контролем (субстрат без засолення та домішок); для 2 % NaCl – 18–59 %;

для 3 % NaCl – 33–59 %; для 4 % NaCl – 32–76 %. У випадку внесення в субстрат кремнієвмісних сумішей показники знижувалися в цілому в 1,1–3,9 рази. При певних комбінаціях доз NaCl та складу використаних сумішей спостерігалось повне зникнення фітотоксичності й навіть ефект стимулювання росту біотесту.

Встановлено, що за умов високого рівня засолення (NaCl в концентраціях 3 та 4 %) фітотоксичність субстрату при внесенні кремнієвмісних сумішей знижувалася більшою мірою під культурами суріпиці озимої (у 2,1–3,9 рази) та еспарцету (у 2,0–2,3 рази). При низьких значеннях pH (4–5) найліпші результати по зменшенню фітотоксичності субстрату отримано для редьки олійної (у 1,2–2,6 рази, або повністю зникала) та кукурудзи (у 1,5–2,4 рази). Використання суміші кремнієвмісних мінералів

Таблиця 3

Вплив сумішей кремнієвмісних мінералів на вміст фотосинтетичних пігментів масу сухої речовини рослин суріпиці при різних рівнях кислотності субстрату, $P < 0,01$

pH		Хлорофіл а				Хлорофіл б				Каротиноїди				Маса сухої речовини рослин, мг			
		4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7
Суміш, №	0	10	13	14	18	2,9	4,4	4,9	6,0	4,5	6	3,2	3,5	2,6	3,6	4,6	4,8
	1	15	16	16	18	5,7	4,7	5,2	6,6	3,4	5,1	3,9	3,6	3,7	4,6	4,9	4,7
	2	15	15	19	18	4,8	4,6	5,7	6,0	3,1	3,9	3,7	3,4	4,6	4,3	4,4	4,8
	3	11	13	13	19	3,4	3,9	4,6	6,0	4,0	3,5	3,6	3,0	4,4	4	4,1	4,8
	4	14	12	17	20	3,1	3,7	5,5	5,9	3,7	3,9	3,3	3,6	4,8	4,8	4,9	4,8

Таблиця 4

Продуктивність сільськогосподарських культур на дослідному полі Ксаверівка 2 Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків у 2014 р

№ пор.	Суміші кремнієвмісних мінералів, №	Цукрові буряки			Кукурудза на зерно		Соя	
		Гібрид Кварта			Площа, га	Урожайність, т/га	Площа, га	Урожайність, т/га
		Площа, га	Урожайність, т/га	Цукристість, %				
1	№1	0,20	81,0	16,4	0,10	9,4	0,20	2,4
2	№2	0,20	78,3	16,6	0,10	8,7	0,20	2,2
3	№3	0,20	66,9	16,4	0,10	7,8	0,20	1,8
4	№4	0,20	61,7	16,1	0,10	7,6	0,20	1,7
5	Контроль	0,20	56,2	16,5	0,10	7,2	0,20	1,6



Вплив внесення кремнієвмісних сумішей (300 кг/га) на продуктивність кукурудзи в польовому досліді: К – контроль, Б – суміш № 1, В – суміш, № 2, ТА – суміш № 3, ТТ – суміш № 4

та верхового торфу в поєднанні з трепелом найбільш ефективно для зниження фітотоксичності як при засоленні, так і при закисненні.

При закисненні аделопатична активність субстрату без додавання сумішей змінювалася у таких межах: ріст біотесту пригнічувався при $pH = 4$ на 49 %, при $pH = 5$ – на 64 %, при $pH = 6$ – на 28 % порівняно з контролем (субстрат без сумішей при $pH = 7$). Застосування сумішей знижувало фітотоксичність, що виявлялося у збільшенні приросту біотесту при $pH = 6$ у 1,1–1,3 рази; при $pH = 5$ – у 1,8–2,4 рази; при $pH = 4$ – у 1,5–1,7 рази. Використання сумішей на основі силікату калію та торфу (№ 2 та № 4) було найефективнішим для зниження фітотоксичності субстрату при високому рівні закислення ($pH = 4$). При $pH = 5–6$ фітотоксичність зменшувалася більшою мірою у субстраті при внесенні сумішей № 2 та № 3; при $pH = 7$ спостерігали стимулювання росту біотесту (на 9–20 % порівняно з контролем) внесеними сумішами.

Біохімічну активність субстрату оцінювали за значеннями окисно-відновного потенціалу (ОВП), тісно пов'язаного з трансформацією органічної речовини. Встановлено, що застосування кремнієвмісних сумішей сприяло підвищенню значень ОВП у 1,1–1,6 рази в умо-

вах засолення (табл. 5). Застосовані кремнієвмісні суміші оптимізували перебіг окисно-відновних процесів у субстраті, що покращувало його характеристики для оптимізації процесів росту та розвитку рослин в умовах закислення та засолення.

На даний час відсутня будь-яка інформація щодо дослідження електропровідності ґрунтів при вирощуванні рослин на фоні різних концентрацій хлориду натрію. Вперше з'ясовано, що присутність кремнієвмісних сумішей у субстраті сприяє акумуляції Na і Cl рослинами-фітомеліорантами. Виявлено видову вибірковість рослин щодо розподілу цих елементів від складу суміші. Найбільш стійкими до засолення виявилися рослини кукурудзи та еспарцету.

В умовах польових дослідів показано, що зменшення токсичності ґрунту під рисом за умов вторинного засолення спостерігалось при внесенні силікату калію у дозі 500 кг/га. Ця суміш була також ефективною за умов закислення ґрунту під культурами цукрового буряку, сої, кукурудзи, пшениці. Позитивний результат отримано у варіантах з мінералізованим сапропелем у дослідях з соєю та кукурудзою. Застосування кремнієвмісних сумішей стимулювало підвищення значень окисно-відновного потенціалу ґрунту при вторинному за-

солонні під рисом та закисленні під цукровим буряком, соєю, кукурудзою і пшеницею, що призводило до послаблення відновних процесів і сприяло, в свою чергу, оптимізації умов для надходження поживних елементів та перебігу гуміфікації. Виявлено зменшення вмісту вільних фенольних речовин у ґрунті за умов засолення під рисом та закислення під цукровим буряком, соєю, кукурудзою та пшеницею при внесенні кремнієвмісних сумішей, що вказує на активне залучення їх у процеси гумусоутворення.

Важливим чинником агроєкосистем, що обумовлює родючість ґрунтів, ріст і розвиток рослин, є мікробіота. Мікроорганізми — найбільш

чисельний і різноманітний за видовим складом компонент ризосфери. Ґрунтові мікроорганізми виконують різноманітні екологічні функції, основними з яких є забезпечення певних етапів кругообігу біогенних елементів та підтримка гомеостазу біогеоценозу [5].

Внесення кремнієвмісних сумішей призводить спочатку до «розбалансування» у мікробному ценозі, а з часом стабілізує та активізує діяльність мікроорганізмів. Перебудова функціональної структури мікробного ценозу ґрунту обумовлена присутністю кремнієвмісних сумішей, що підтверджується не лише зміною чисельності певних еколого-трофічних груп

Таблиця 5

ОВП субстрату під різними культурами у модельних дослідках при засоленні, мВ

NaCl, %	Варіант	Редька олійна	Суріпиця озима	Кукурудза	Еспарцет	Тифон
0	Субстрат без домішок	240 ± 4,0	220 ± 3,8	250 ± 3,9	230 ± 4,2	236 ± 3,9
	Сапропель + мінерали	286 ± 5,7	268 ± 5,4	291 ± 5,8	294 ± 5,9	295 ± 5,9
	K ₂ SiO ₃ , сапропель, мінерали	263 ± 5,3	250 ± 5,0	283 ± 5,7	284 ± 5,7	274 ± 5,5
	Кремнієвмісні мінерали	267 ± 5,4	240 ± 4,8	276 ± 5,5	263 ± 5,3	269 ± 5,4
	Верховий торф + трепел	257 ± 5,1	282 ± 5,6	300 ± 6,0	244 ± 4,9	255 ± 5,1
1	Субстрат без домішок	192 ± 3,8	180 ± 3,6	187 ± 3,7	197 ± 3,9	185 ± 3,7
	Сапропель + мінерали	237 ± 4,7	223 ± 4,5	283 ± 5,7	257 ± 5,1	259 ± 5,2
	K ₂ SiO ₃ , сапропель, мінерали	254 ± 5,1	229 ± 4,6	256 ± 5,1	230 ± 4,6	250 ± 5,0
	Кремнієвмісні мінерали	215 ± 4,3	215 ± 4,3	265 ± 5,3	270 ± 5,4	260 ± 5,2
	Верховий торф + трепел	230 ± 4,6	245 ± 4,9	297 ± 5,9	294 ± 5,9	278 ± 5,6
2	Субстрат без домішок	185 ± 3,7	202 ± 4,0	195 ± 3,9	215 ± 4,3	175 ± 3,5
	Сапропель + мінерали	230 ± 4,6	246 ± 4,9	214 ± 4,3	244 ± 4,9	260 ± 5,2
	K ₂ SiO ₃ , сапропель, мінерали	289 ± 5,8	226 ± 4,5	262 ± 5,2	280 ± 5,6	246 ± 4,9
	Кремнієвмісні мінерали	224 ± 4,5	213 ± 4,3	222 ± 4,4	274 ± 5,5	255 ± 5,1
	Верховий торф + трепел	235 ± 4,7	238 ± 4,8	279 ± 5,6	290 ± 5,8	285 ± 5,7
3	Субстрат без домішок	190 ± 3,8	195 ± 3,9	201 ± 4,0	200 ± 4,0	206 ± 4,1
	Сапропель + мінерали	220 ± 4,4	240 ± 4,8	263 ± 5,3	260 ± 5,2	240 ± 4,8
	K ₂ SiO ₃ , сапропель, мінерали	211 ± 4,2	226 ± 4,5	296 ± 5,9	280 ± 5,6	254 ± 5,1
	Кремнієвмісні мінерали	206 ± 4,1	237 ± 4,7	300 ± 6,0	242 ± 4,8	238 ± 4,8
	Верховий торф + трепел	240 ± 4,8	250 ± 5,0	310 ± 6,2	257 ± 5,1	246 ± 4,9
4	Субстрат без домішок	222 ± 4,4	180 ± 3,6	207 ± 4,1	192 ± 3,8	194 ± 3,9
	Сапропель + мінерали	261 ± 5,2	250 ± 5,0	295 ± 5,9	297 ± 5,9	255 ± 5,1
	K ₂ SiO ₃ , сапропель, мінерали	245 ± 4,9	225 ± 4,5	300 ± 6,0	289 ± 5,8	244 ± 4,9
	Кремнієвмісні мінерали	238 ± 4,8	218 ± 4,4	311 ± 6,2	212 ± 4,2	280 ± 5,6
	Верховий торф + трепел	270 ± 5,4	220 ± 4,6	305 ± 6,1	300 ± 6,2	273 ± 5,5

грунтових мікроорганізмів, але й спрямованістю мікробних процесів у ґрунті (табл. 6). Найбільш чутливо реагували мікроорганізми ґрун-

ту на внесення кремнієвмісних матеріалів у варіантах з соєю та кукурудзою, особливо за умов внесення суміші № 1 і 2.

Таблиця 6

Чисельність мікроорганізмів основних таксономічних та еколого-трофічних груп ризосфери пшениці озимої на закислених ґрунтах дослідного господарства «Солівонки» Кагарлицького району, 2014 рік

Варіанти дослідів	Чисельність ґрунтових мікроорганізмів (КУО на 1 гр. абсолютно сухого ґрунту)				Коефіцієнт мінералізацій-імобілізації	Показник транс-формації орг. речовини	Азотфіксуювальні мікроорганізми, %
	Мікроміцети, $\times 10^3$	Актиноміцети, $\times 10^4$	Амоніфікатори, $\times 10^4$	Олігонітрофіли, $\times 10^4$			
Контроль	27,6 \pm 3,5	0,2 \pm 0,07	10,2 \pm 0,6	5,0 \pm 0,4	0,5	30,47	100
Верховий торф, кремнієвмісні мінерали	25,6 \pm 1,4	0,6 \pm 0,007	7,2 \pm 0,7	6,2 \pm 0,2	0,9	14,9	100
Кремнієвмісні мінерали	53,9 \pm 0,7	0,4 \pm 0,007	5,0 \pm 0,6	5,3 \pm 0,4	1,1	9,4	100
Силікат калію, кремнієвмісні мінерали, сапропель	51,3 \pm 5,0	0,2 \pm 0,008	7,1 \pm 0,5	4,9 \pm 0,4	0,7	17,1	100
Мінералізований сапропель, кремнієвмісні мінерали	48,7 \pm 5,1	0,3 \pm 0,001	7,7 \pm 0,4	5,7 \pm 0,1	0,7	19,1	95

*КУО – колоній утворюючі одиниці.

Таблиця 7

Порівняльний аналіз ефективності дії інгібіторів нітрифікації в залежності від вмісту органічної речовини і рН ґрунтового субстрату*

Варіант дослідів	Ґрунтовий субстрат	рН сол.	Гумус, %	Вміст нітратного азоту, мг/кг		
				Тривалість експозиції рослин, доба		
				15	30	45
Озима пшениця						
Контроль	Пісок	7,2	0,03	115,7	193,6	298,1
	Ґрунтова суміш	6,2	7,5	146,9	235,8	334,2
Нітрапірин 200мг/200г субстрату	Пісок	7,2	0,03	97,5	83,9	92,4
	Ґрунтова суміш	6,2	7,5	101,7	88,3	95,6
Суміш трепелу і анальциму, 200мг/200г субстрату	Пісок	7,2	0,03	71,3	64,9	61,7
	Ґрунтова суміш	6,2	7,5	73,8	66,1	64,3
Кукурудза						
Контроль	Пісок	7,2	0,03	99,3	168,4	255,8
	Ґрунтова суміш	6,2	7,5	125,7	191,0	287,1
Нітрапірин 200мг/200г субстрату	Пісок	7,2	0,03	81,2	73,7	77,6
	Ґрунтова суміш	6,2	7,5	87,9	76,4	82,3
Суміш трепелу і анальциму, 200мг/200г субстрату	Пісок	7,2	0,03	52,4	43,9	42,5
	Ґрунтова суміш	6,2	7,5	54,3	45,1	43,2

Примітка. * – один раз на тиждень вносили 0,5%-ий розчин сечовини у кількості 50 мл на 200 г ґрунтового субстрату

У результаті проведених досліджень вперше було з'ясовано участь сполук кремнію в інгібуванні процесів нітрифікації, а отже у більш раціональному використанні азотних добрив. Порівняльний аналіз тривалості дії інгібіторів нітрифікації довів високу персистентність кремнієвмісних мінералів порівняно з відомим інгібітором нітрифікації – нітрапірином (табл. 7). Особливий інтерес викликають мікробіологічні дослідження ґрунтового субстрату при внесенні кремнієвмісних мінералів, які було проведено вперше. Встановлено поступове зменшення чисельності нітрифікаторів, що свідчить про пролонговану дію сполук кремнію щодо пригнічення процесів нітрифікації в ґрунті.

Доведено нешкідливість мінералів для ґрунтової мікробіоти, про що свідчить високий рівень загальної чисельності мікроорганізмів у

ґрунті та відсутність різкої флуктуації амоніфікаторів, нітрифікаторів і денітрифікаторів.

Внесення кремнієвмісних сумішей в ґрунт сприяє зменшенню його фітотоксичності, підвищенню концентрацій кальцію в ґрунті з відповідним підвищенням його вмісту у рослинах (табл. 8). Протилежна залежність спостерігалася у випадку розподілу магнію в ґрунті: при цьому в умовах закислення простежується зростання вмісту магнію в рослинах, а в умовах засолення, навпаки, зменшення його концентрації. Доведено позитивний вплив сполук кремнію на надходження до рослинних організмів катіонів калію, що позитивно позначається на термодинамічному поглинанні коренями катіонів мікроелементів. У варіантах з кремнієвмісними сумішами за умов закислення спостерігається зростання вмісту цинку в рослинах, а за умов вторинного засолення –

Таблиця 8

Вміст кальцію в ґрунті при внесенні кремнієвмісних мінералів за умов закислення та засолення, мг/л (1Н НСІ)

Варіант досліджу	I відбір ґрунтових зразків (липень)					II відбір ґрунтових зразків (вересень)				
	Культури									
	Цукровий буряк		Кукурудза	Соя	Рис	Цукровий буряк		Кукурудза	Соя	Рис
	Стандарт	Кварта				Стандарт	Кварта			
Контроль	2998,8	4498,2	4165,0	3631,8	1166,2	4487,5	4998,7	4165,0	4998,0	2332,7
Суміш № 1	3831,8	5331,2	4998,0	4165,0	3831,8	5831,0	5497,8	6330,2	5731,9	2499,5
Суміш № 2	3998,4	5348,4	4664,8	4498,2	3498,6	6664,0	7163,8	6964,5	5811,6	2511,7
Суміш № 3	4331,6	5997,6	5331,2	6330,8	4165,0	6830,7	7497,0	7497,5	5984,5	2998,8
Суміш № 4	3989,6	4664,8	4573,6	3869,7	2998,8	4998,1	5399,7	5999,3	5331,7	2483,6

Таблиця 9

Вміст алюмінію в рослинах при внесенні кремнієвмісних сумішей, мг/кг сухої рослинної маси

Варіант досліджу	Цукровий буряк		Кукурудза	Соя	Рис
	Стандарт	Кварта			
Контроль	639,6	404,0	288,2	853,8	501,6
Суміш № 1	248,5	270,3	49,24	551,2	300,9
Суміш № 2	249,7	220,4	67,99	580,4	239,8
Суміш № 3	364,8	292,8	41,21	468,1	398,1
Суміш № 4	237,5	311,7	144,6	657,4	257,1

марганцю. Вперше виявлено інгібуючу дію кремнієвмісних сумішей щодо надходження важких металів до рослин (табл. 9).

За міжнародною оцінкою світові запаси фосфоровмісних руд за умов збереження нинішнього видобутку будуть вичерпані через 85 років. Як показали наші дослідження, для вирішення даної проблеми, пов'язаної з дефіцитом вихідної природної сировини для виробництва фосфорних добрив, доцільно використовувати кремнієвмісні суміші з метою підвищення вмісту рухливих форм фосфору ґрунту за рахунок вивільнення фосфатів із малодоступних для рослин форм.

Проведені дослідження свідчать про важливе значення кремнієвмісних сумішей у підвищенні адаптивного потенціалу рослин до закислення і засолення ґрунтів, яке відбувається за рахунок збільшення концентрації макро- і мікроелементів у рослинних тканинах. Виявлено позитивний вплив сполук кремнію на оптимізацію забезпечення рослин фосфором у результаті зростання вмісту фосфатів I і II групи, доступних для рослинних організмів. Показано участь кремнію в структурно-функціональній організації біогеоценозу.

Отримано позитивні результати та підтверджено ефективність кремнієвмісних мінералів на посівах рису в КНР та в ОАЕ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балюк С.А., Медведєв В.В., Мирошніченко Н.Н., Скрильчик Е.В., Тимченко Д.О., Фатєєв А.И., Христенко А.А., Цапко Ю.Л. Екологічний стан ґрунтів України // Український географічний журнал. — 2012. — № 2. — С. 38–42.
2. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища. Навч. посібник. — 3-є вид. — К.: Знання, КОО, 2004. — 309 с.
3. Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. — К.: Наук. думка, 1973. — 592 с.
4. Гродзинский А.М., Кострома Е.Ю., Шроль Т.С., Хохлов И.Г. Прямые методы биотестирования почвы и метаболитов микроорганизмов // Аллелопатия и продуктивность растений. — К.: Наук. думка, 1990. — С. 121–124.
5. Патыка И.П., Зенова Т.М. Биология почв. — М.: Изд-во МГУ, 1989. — 336 с.
6. Dragišić Maksimović J., Zang J., Zeng F.H., Živanović B.D., Šhabala L., Zhou M., Šhabala S. Linking oxidative and salinity stress tolerance in barley: can root antioxidant enzyme activity be used as a measure of stress tolerance // Plant and Soil. — 2013. — V. 365, Is. 1–2. — P. 141–155.
7. Dunbabin V.M., Postma J.A., Schnepf A., Pages L., Javaux M., Wu L., Leitner D., Chen Y.L., Rengel Z., Diggle A.J. Modelling root-soil interactions using three-dimensional models of root growth, architecture and function // Plant and Soil. — 2013. — V. 372, Is. 1–2. — P. 93–124.
8. Heikal M.M.D. Physiological studies on salinity VI. Changes in water content and mineral composition of some plants over a range of salinity stresses // Plant and Soil. — 1977. — V. 45. — Is. 1. — P. 223–232.
9. Klotzbücher T., Leuther F., Marxen A., Vetterlein D., Horgan F.G., Jahn R. Forms and fluxes of potential plant-available silicon in irrigated lowland rice production (Laguna, the Philippines) // Plant and Soil. — 2015. — V. 393. — Is. 1–2. — P. 187–191.
10. Li H., Ma Q., Li H., Zhang F., Rengel Z., Shen J. Root morphological responses to localized nutrient supply differ among crop species with contrasting root traits // Plant and Soil. — 2014. — V. 376. — Is. 1–2. — P. 151–163.
11. Sun C., Gao X., Fu J., Zhou J., Wu X. Metabolic response of maize (*Zea mays* L.) plants to combined drought and salt stress // Plant and Soil. — 2015. — V. 388. — Is. 1–2. — P. 99–117.

REFERENCES

1. Baljuk S.A., Medvedev V.V., Myroshnychenko N.N. Ekologichnyj stan ґruntiv Ukraїny. *Ukraїns'kyj geografičnyj zhurnal*. 2012, N 2: 38–42 [in Ukrainian].
2. Dzhygyrej B.C. *Ekologija ta ohorona navkolyshn'ogo sredovyshha*. Navch. posibnyk. Kyiv: Znannja, KOO, 2004 [in Ukrainian].
3. Grodzinskij A.M., Grodzinskij D.M. *Kratkij spravocnik po fiziologii rastenij*. Kyiv: Nauk. dumka, 1973 [in Russian].
4. Grodzinskij A.M., Kostroma E.Ju., Shrol' T.S., Hohlov I.G. Prjamyje metody biotestirovanija pochvy i metabolitov mikroorganizmov. *Allelopatija i produktivnost' rastenij*. Kyiv: Nauk. dumka, 1990. S. 121–124 [in Russian].
5. Patyka I.P., Zenova T.M. *Biologija pochv*. Moskva: Izd-vo MGU, 1989 [in Russian].
6. Dragišić Maksimović J., Zang J., Zeng F. et al. Linking oxidative and salinity stress tolerance in barley: can root antioxidant enzyme activity be used as a measure of stress tolerance. *Plant and Soil*. 2013. V. 365, Is. 1–2: 141–155.
7. Dunbabin V.M., Postma J.A., Schnepf A et al. Modelling root-soil interactions using three-dimensional models of

- root growth, architecture and function. *Plant and Soil*. 2013. V. 372, Is. 1–2: 93–124.
8. Heikal M.M.D. Physiological studies on salinity VI. Changes in water content and mineral composition of some plants over a range of salinity stresses. *Plant and Soil*. 1977. V. 45, Is. 1: 223–232.
9. Klotzbücher T., Leuther F., Marxen A. et al. Forms and fluxes of potential plant-available silicon in irrigated lowland rice production (Laguna, the Philippines). *Plant and Soil*. 2015. V. 393, Is. 1–2: 187–191.
10. Li H., Ma Q., Li H. et al. Root morphological responses to localized nutrient supply differ among crop species with contrasting root traits. *Plant and Soil*. 2014. V. 376, Is. 1–2: 151–163.
11. Sun C., Gao X., Fu J. et al. Metabolic response of maize (*Zea mays* L.) plants to combined drought and salt stress. *Plant and Soil*. 2015. V. 388, Is. 1–2: 99–117.

*Н.В. Заименко, Н.П. Дидык, Н.Э. Элланская,
Б.А. Иванюцкая, Н.А. Павлюченко, Д.Б. Рахметов,
И.П. Харитонова*

Национальный ботанический сад
им. Н.Н. Гришко Национальной академии наук, Киев

ВНЕДРЕНИЕ НОВЕЙШЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКОЙ И ФИТОМЕЛИОРАЦИИ КИСЛЫХ И ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Предложены методы внедрения новейшей технологии мелиорации кислых и засоленных почв, основанной на комплексном использовании кремнийсодержащих смесей при совместном выращивании злаковых, бобовых и крестоцветных видов растений. Разработан технологический регламент для применения химических и фитомелиорантов в различных почвенно-климатических зонах Украины. Определены кремнийсодержащие смеси с высоким мелиоративным потенциалом и оптимальные дозы их применения. Проведено комплексное изучение химических и фитомелиорантов, определены их роль в стимуляции развития агрономически полезной микробиоты.

Улучшены агрофизические, агрохимические, биологические показатели почвы и снижены токсичность и почвоугнетение на фоне внесения кремнийсодержащих смесей. Усовершенствована структура севооборотов.

Ключевые слова: кислые и засоленные почвы, химическая и фитомелиорация, кремнийсодержащие смеси, сельскохозяйственные культуры, адаптивный потенциал.

*N.V. Zaimenko, N.P. Didyk, N.E. Ellans`ka,
B.O. Ivanytska, N.A. Pavliuchenko, D.B. Rakhmetov,
I.P. Kharytonova*

M.M. Gryshko National Botanical Garden,
NAS of Ukraine, Kyiv

IMPLEMENTATION OF NEW TECHNOLOGIES OF CHEMICAL AND PHYTOMELIORATION OF ACIDIC AND SALINE SOILS

The newest technology of reclamation of acid and saline soils, based on the integrated use of silicon compounds with cultivation of cereals, legumes and cruciferous plant species was implemented. The technological regulations for the use of chemical and phytomeliorants in different soil-climatic zones of Ukraine were worked out. The silicone-containing mixtures with a high meliorative potential and the optimal dosages for their application were determined. A comprehensive study of the chemical and phytomeliorants was conducted; their role in stimulation of the development of agriculturally useful microbiota, reducing soil sickness, increasing of the plant adaptive potential to abiotic stress factors was defined. Application of silicon-containing mixtures improved agrophysical, agrochemical, biological characteristics of soil, reduced its toxicity and soil sickness. The structure of crop rotation was improved.

Keywords: acidic and saline soils, chemical and phytomelioration, silicon-containing mixture, crops, adaptive potential.

Стаття надійшла до редакції 17.06.15